



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

Offenlegungsschrift

(10) DE 195 11 234 A 1

(51) Int. Cl. 6:

G 01 F 23/28

G 01 F 23/296

G 01 S 7/523

G 01 S 15/88

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)

02.06.94 KR 94-12408 18.01.95 KR 195-752

(71) Anmelder:

Changmin Technology Co. Ltd., Seoul/Soul, KR

(74) Vertreter:

Weber & Heim Patentanwälte, 81479 München

(72) Erfinder:

Chang, Haak Soo, Seoul/Soul, KR

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Wasserpegel-Messung

(55) Verfahren zur Messung des Wasserpegels eines Speichers, eines größeren Flusses und eines Grundwassers sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, mit einem Wellenleiterrohr, für welches eine bestimmte Länge vorgesehen ist, mit einem auf dem oberen Abschnitt des Wellenleiterrohrs angeordneten Ultraschall-Impuls-Generator und mit einer Vielzahl von Ultraschallempfängern, die beispielsweise als Mikrofone ausgebildet sein können und die auf einem bestimmten Abstand voneinander angeordnet sind, wobei der Ultraschall-Impuls-Generator Ultraschallimpulse in einer vorgegebenen Periode erzeugt, die Empfänger Impulse empfangen, die in ausgesandte Wellen und reflektierte Wellen aufgeteilt sind und abwechselnd ankommen, wobei diese Impulse nach Verstärkung/Wellenformung einem Mikroprozessor zugeführt werden und der Mikroprozessor daß Zeitintervall zwischen der ausgesandten und der reflektierten Welle mißt, die von dem ersten Ultraschallempfänger aufgenommen werden, und daß Zeitintervall zwischen dem ersten Ultraschallempfänger und dem n-ten Ultraschallempfänger feststellt, der in der Nähe der Wasseroberfläche angeordnet ist, so daß auf diese Weise der Wasserpegel berechnet wird.

DE 195 11 234 A 1

DE 195 11 234 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Technologie zur Messung des Wasserpegels unter Verwendung einer Schallwelle und bezieht sich insbesondere auf ein Verfahren zur Messung des Wasserpegels von Speichern, großen Flüssen und Grundwasser, bei welchem die Umgebungstemperatur und die Feuchtigkeit in einem großen Bereich schwanken, und es gehören zur Erfindung auch ein Hydrometer und eine Vorrichtung zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens.

Das typischste Hydrometer-Gerät zur Beobachtung oder Überwachung einer Schleuse oder eines Schleusentors ist ein Schwebekörper-Hydrometer. Das Schwebekörper-Hydrometer hat Vorteile, da es ein mechanisches und ein automatisches Wasserpegel-Aufzeichnungsgerät betätigen kann, ohne eine Energiequelle zu verwenden. Es ist außerdem für den Aufbau einer Telemetrie-Anlage mit einem Winkel-Code-Übertrager geeignet, der an ein Rad der Anlage angeschlossen ist. Ein Schwebekörper-Hydrometer hat jedoch Nachteile, die unten beschrieben werden. Solche Nachteile treten in Erscheinung, wenn der Wasserpegel-Meßbereich groß wird (die Variationsbreite des Wasserpegels vom Minimum zum Maximum).

Da das Schwebekörper-Hydrometer nur in einer Richtung abwärts oder aufwärts zu betreiben ist, erfordert es einen vertikalen Aufbau, um sein eigenes Hydrometer aufzurichten, beispielsweise einen Turm. Mit anderen Worten, wenn der Wasserpegel eines Speichers um einige 10 m schwankt, ist ein Turm von einer Höhe von einigen 10 m erforderlich. Die Empfindlichkeit des Schwebekörper-Hydrometers ist fast proportional zu dem Durchmesser des Schwebekörpers. Um den tiefen Grundwasserpegel automatisch aufzuzeichnen oder durch Fernmessung zu erfassen, muß der Durchmesser eines Meßschachtes zur Beobachtung der Grundwasserpegel groß sein.

Wenn der Meßbereich des Wasserpegels einige 10 m beträgt, muß ein Seil, welches an dem Hydrometer angebracht ist, eine Länge von einigen 10 m haben. Dies führt dazu, daß die Meßfehler des Wasserpegels aufgrund der Wärmeausdehnung und der Konstruktion in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur größer werden.

Eine Korrektur-Prüfeinrichtung für das Schwebekörper-Hydrometer muß eine Vertikal-Anordnung aufweisen. Wenn der Meßbereich des Wasserpegels einige 10 m beträgt, wird die Korrektur-Prüfeinrichtung um so komplexer, da ihre Höhe einige 10 m betragen muß.

Diese Nachteile beschränken den Meßbereich des Wasserpegels, der mit dem Schwebekörper-Hydrometer gemessen werden soll. Es wird auch die Anwendung zur Messung des Wasserpegels von Speichern, großen Flüssen und von Grundwasser schwieriger.

Außerdem ist es bei der Messung des Wasserpegels eines Speichers und eines Flusses bei jeder Art von Hydrometer erforderlich, Gegenmaßnahmen zu treffen, um Vibratoren oder Wellenbewegungen des Wassers zu unterdrücken. Daher ist es erforderlich, eine große und komplexe Konstruktion zu entwerfen.

Um diese Nachteile zu überwinden, sind verschiedene Hydrometer entwickelt worden. Beispielsweise gibt es ein Hydrometer zur Messung der Wassertiefe und zur anschließenden Zählung des Wasserpegels, bei welchem ein Druckfühler in einer vorgegebenen Tiefe des Wassers derart angebracht ist, daß der Wasserdruck gemessen wird. Die Nachteile des Hydrometers sind folgende:

Der Einbau des Druckfühlers an einem vorgegebenen Ort erfordert Unterwasserarbeit, um das Kabel anzubringen, welches dazu dient, den Druckfühler mit einer Druckmeßeinrichtung zu verbinden, und um Rohre anzubringen, um einen atmosphärischen Druck entlang dem Ufer eines Flusses dem Druckfühler zuzuführen.

Auch die Wartung und der Betrieb sind schwierig, einschließlich einem periodischen Austausch eines Druckfühlers usw.

Selbst dann, wenn der Druckfühler überragende Eigenschaften und Leistungen aufweist, wird bei der Messung der Wassertiefe H die Berechnung über die Formel $H = P - P_0/\rho$ durchgeführt, wobei ρ die Dichte des Wassers ist, P ein Druck ist, der durch einen Druckfühler gemessen wird, und P_0 ein atmosphärischer Druck ist.

Die durchschnittliche Dichte des Wassers auf einer horizontalen Linie eines Speichers ist kein unveränderlicher Wert, sondern verändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur und anderen Einflußgrößen. In ähnlicher Weise ist auch der atmosphärische Druck P_0 eine Art Veränderliche. Daher ist es nicht einfach, diese Faktoren genau zu kompensieren. Außerdem beträgt die Wellenhöhe in einem großen Speicher oft mehrere Meter, so daß dadurch ein größerer Meßfehler der Wassertiefe verursacht wird.

Andererseits wäre da ein Ultraschall-Hydrometer, welches auch einen größeren Fehler verursacht, als er bei der Verwendung eines Druckfühlers auftritt, während es dieselben Nachteile aufweist, die bei demjenigen Hydrometer auftreten, welches mit einem Druckfühler ausgestattet ist und zwar in bezug auf Wartung und Betrieb. Es ist ein Ultraschall-Hydrometer entwickelt worden, in welchem ein Ultraschall-Übertrager in einem vorgegebenen Abstand über der Wasseroberfläche angeordnet ist, so daß eine Zeit t, welche von der Zeit der Aussendung eines Ultraschallimpulses beginnt, der sich in Luft ausbreitet, auf der Wasseroberfläche reflektiert wird, bis er den Ultraschall-Übertrager erreicht, gemessen wird. Mit anderen Worten, verschiedene industrielle Ultraschall-Hydrometer zur Messung des Wasserpegels L wurden entwickelt.

Der Wasserpegel L läßt sich folgendermaßen darstellen:

$$L = \frac{t \cdot C}{2} \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeutet C eine Ultraschall-Ausbreitungsgeschwindigkeit in Luft zu der Zeit der Messung des Wasserpegels.

Die Ultraschall-Geschwindigkeit in Luft oder anderen Gasen ist eine variable Größe, die von der Temperatur,

dem Druck, der Feuchtigkeit und anderen Komponenten der Luft oder anderer Gase abhängt. Dies bedeutet, daß die genaue Ultraschall-Geschwindigkeit ermittelt werden muß, um den Meßfehler des Wasserpegels zu reduzieren.

Es gibt zwei Methoden zur Kompensation der Ultraschall-Geschwindigkeit C , die dem Fachmann für das Gebiet eines Ultraschall-Hydrometers bekannt sind. Eine Methode besteht darin, die Temperatur zu messen und die Schallgeschwindigkeit C zu berechnen, wobei ein Ultraschall-Vibrator und ein Temperaturfühler miteinander kombiniert werden, unter der Annahme, daß die Zusammensetzung der Luft gleichförmig ist und daß die Temperatur in dem Spalt zwischen dem Ultraschall-Vibrator und der Wasseroberfläche gleich ist. Dabei läßt sich die Ultraschall-Geschwindigkeit folgendermaßen ausdrücken:

$$C = C_0 + \alpha T \quad (2)$$

In dieser Gleichung bedeuten α ein Ultraschall-Temperatur-Koeffizient, T die Temperatur der Luft und C_0 eine Ultraschall-Geschwindigkeit, wenn die Temperatur der Luft gleich 0°C beträgt. Das Ultraschall-Hydrometer wird fast immer in der Weise verwendet, daß es in einem geschlossenen Gefäß angeordnet ist, wenn die Veränderung des Wasserpegels nicht besonders groß ist, wenn die Wasserpegel des Speichers, des großen Flusses und es Grundwasser gemessen werden sollen, können sich die Wasserpegel L um einige 10 m unterscheiden, und es kann die Temperaturverteilung der Luft im Bereich des Wasserpegels L schwanken, so daß es nicht möglich ist, die durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit im Bereich des Wasserpegels L dadurch zu kompensieren, daß nur die Temperatur der Luft an einer Stelle gemessen wird, während im übrigen die Veränderung der Ultraschallgeschwindigkeit gemäß dem Druck und der Zusammensetzung von Gasen vernachlässigt wird.

Bei einer anderen Methode wird zur Kompensation der Veränderung der Ultraschallgeschwindigkeit die Zeit t_0 gemessen, welche erforderlich ist, um Ultraschallwellen von einem Ultraschallvibrator auszusenden, sie an einem reflektierendem Gegenstand oder einem Stab reflektieren zu lassen, bis sie den Ultraschall-Vibrator erreichen, wonach dann der Wasserpegel L durch Zählung ermittelt wird, und zwar mit Hilfe eines reflektierenden Gegenstandes oder Stabes, der auf einem vorgegebenen vertikalen Abstand von dem Ultraschall-Vibrator angeordnet ist. Der Wasserpegel L läßt sich folgendermaßen darstellen:

$$L = \frac{t}{t_0} l \quad (3)$$

Unter der Annahme, daß t_0 einen Wert von $2l/C$ aufweist und $t = 2L/C$ ist der Wasserpegel L . In diesem Fall ist die Ultraschallgeschwindigkeit C_l im Abschnitt l gleich der Ultraschallgeschwindigkeit C_L im Abschnitt L , um die Formel $C_l = CL = C$ zu erfüllen. Dies bedeutet, daß Fehler zur Kompensation der Ultraschallgeschwindigkeit nicht vorhanden sind. Die zuletzt genannte Methode ist der vorhergenannten Methode überlegen, welche den Temperaturfühler in bezug auf den Kompensationseffekt der Ultraschallgeschwindigkeit verwendet. Diese Ultraschall-Hydrometer wurden entwickelt und werden von Ultraflux Co. und Tokimec Co. vertrieben. Wenn die Ultraschallgeschwindigkeit C_l nicht gleich der Ultraschallgeschwindigkeit C_L ist, wird der Wasserpegel L' nach der Formel in (2) folgendermaßen berechnet:

$$L' = L \frac{C_l}{C_L}$$

Dann wird der relative Fehler $\delta_{L'}$ zwischen dem gemessenen Wasserpegel L' und dem tatsächlichen Wasserpegel L folgendermaßen berechnet:

$$\delta_{L'} = \frac{C_l}{C_L} - 1 \quad (4)$$

Mit anderen Worten, gemäß der Darstellung in Fig. 1 läßt sich die Verteilung der Lufttemperatur durch eine gerade Linie darstellen, welche einen Gradienten ($t\Theta$) in einem Abschnitt L aufweist. Unter der Annahme, daß die Temperatur an der Stelle "O" des Ultraschall-Vibrators T_0 ist, daß weiterhin die Temperatur an der Stelle l einen Wert von T_L hat und daß die Temperatur an der Wasseroberfläche T_L ist, sind die durchschnittlichen Temperaturen T_l und T_L folgendermaßen:

$$\bar{T}_l = \frac{T_0 + T_L}{2} = \frac{T_0 + \left(T_0 - \frac{T_0 - T_L}{L} \cdot l \right)}{2} = \frac{2T_0 - \frac{T_0 - T_L}{L} \cdot l}{2}$$

5

$$\bar{T}_L = \frac{T_0 + T_L}{2}$$

10

Die durchschnittlichen Temperaturen T_l und T_L werden in den Gleichungen (2) und (4) substituiert.

$$\delta_L = \frac{0.5\alpha \left[\left(1 - \frac{l}{L} \right) (T_0 - T_L) \right]}{C_0 + 0.5\alpha(T_0 + T_L)} \quad (5)$$

Wenn gemäß der Darstellung in der Gleichung (5) T_0 gleich T_L ist, ist der relative Fehler δ gleich Null. Wenn T_0 nicht gleich T_L und wenn das Verhältnis l/L etwa dem Wert 1 entspricht, wird der relative Fehler δ geringer. Unter der Bedingung, daß der Abschnitt L sich um einige 10 m über den Bereich l verändert, wird jedoch die Temperaturdifferenz $T_0 - T_L$ größer. Wenn das Verhältnis von l/L abnimmt, nimmt der Fehler zu. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen wird der Meßbereich des Wasserpegels so gewählt, daß L etwa $2l$ bis $5l$ beträgt. Der zulässige Fehler des Wasserpegels muß jedoch unter 1 cm über den gesamten Meßbereich im Speicher, im Fluß und im Grundwasser liegen.

Wenn beispielsweise $l = 0,5$ m, $L = 20$ m, $T_0 = 30^\circ\text{C}$, $T_L = 20^\circ\text{C}$ und $\alpha = 0,6$,

$$\Delta_L = L \cdot \delta_L = \frac{20 \cdot 0.5 \cdot 0.6 \left[\left(1 - \frac{0.5}{20} \right) (30 - 20) \right]}{331.6 + 0.5 \cdot 0.6 (30 + 20)} = 0.168 \text{ m}$$

Wie in der oben dargestellten Formel veranschaulicht wird, beträgt der absolute Fehler Δ_L etwa 17 m. Wenn l 5 m oder 10 m beträgt, sind die absoluten Fehler Δ_L 13 cm und 8 cm. Wenn die Temperaturdifferenz 5°C ($T_0 = 30^\circ\text{C}$) beträgt, dann sind die absoluten Fehler Δ_L gleich der Hälfte der oben angegebenen Fehler, beispielsweise 8,5, 6,5, und 4 cm.

Um somit die Nachteile der zwei Ultraschall-Kompensationsmethoden unter Verwendung eines Reflektorstabes zu vermeiden, liegt der Erfundung die Aufgabe zugrunde, eine Ultraschall-Hydrometrie-Anlage zu schaffen, bei welcher der Meßfehler für einen Wasserpegel über den gesamten Meßbereich auch dann nicht ansteigt, wenn der Meßbereich außerordentlich groß ist.

Es soll gemäß der Erfundung auch ein Verfahren geschaffen werden, um den Wasserpegel eines Speichers, eines Flusses und von Grundwasser zu messen, bei welchem auf einer geneigten Oberfläche oder einem Abhang ein Ultraschall-Hydrometer angebracht wird, und es soll eine zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens geeignete Vorrichtung geschaffen werden, ohne daß ein vertikaler Turm dazu verwendet wird, ein Hydrometer in einer vertikalen Richtung zu betreiben, wie es bei einer Einrichtung mit einem Schwebekörper erforderlich ist, und es soll schließlich eine Vorrichtung zur Unterdrückung von Vibrationen oder Schwingungen des Wassers geschaffen werden.

Schließlich soll gemäß der Erfundung erreicht werden, den Wasserpegel eines Speichers, eines großen Flusses und von Grundwasser zu messen, und zwar auch mit einer dazu geeigneten Vorrichtung, wobei ein Ultraschall-Hydrometer verwendet wird, in welchem ein Beobachtungsschacht für einen Wasserpegel im Grundwasser verwendet wird, um eine automatische Messung des Wasserpegels durchzuführen.

Gemäß der Erfundung wird bei einem Verfahren zur Messung des Wasserpegels eines Speichers, eines großen Flusses und von Grundwasser in einer entsprechenden Vorrichtung ein Wellenleiterrohr verwendet, welches eine vorgegebene Länge aufweist, auf dem oberen Abschnitt des Wellenleiterrohres wird ein Ultraschall-Impuls-Generator angebracht und es werden eine Vielzahl von Ultraschallempfängern (erster, zweiter, dritter ...) verwendet, beispielsweise Mikrophone, die auf einem Intervall-Abstand l voneinander angeordnet sind, wobei der Ultraschall-Impuls-Generator Ultraschallimpulse in einer vorgegebenen Periode erzeugt, wobei die Empfänger Impulse empfangen, die in ausgesandte Wellen und reflektierte Wellen unterteilt sind, wobei diese Impulse nach Verstärkung/Wellenformung einem Mikroprozessor zugeführt werden, und wobei der Mikroprozessor das Zeitintervall t_i zwischen der ausgesandten Welle und der reflektierten Welle mißt, welche durch den ersten Ultraschallempfänger aufgenommen werden, und weiterhin das Zeitintervall t_{n-1} zwischen dem ersten Ultraschallempfänger und dem $(n-1)$ ten Ultraschallempfänger mißt, der nahe der Wasseroberfläche angeordnet ist, so daß somit der Wasserpegel L berechnet wird. Weiterhin wird dann, wenn der Wasserpegel L auf der geneigten Oberfläche eines Speichers, eines großen Flusses usw. gemessen wird, ein kugelförmiger Schwebekörper in das Wellenleiterrohr eingefügt.

Hingegen ist es nicht erforderlich, den Schwebekörper bei der Messung des Wasserpegels eines verhältnismäßig kleineren Flusses zu verwenden, wenn das Wellenleiterrohr in einer vertikalen Richtung angeordnet werden

kann. Um den Wasserpegel vom Grundwasser zu messen, sieht die Erfindung einen Trägerstab vor, der eine Mehrzahl von Ultraschallempfängern hat (einen ersten, zweiten, dritten ... nten), die auf einem vorgegebenen Intervall 1 angeordnet sind, um in einem Grundwasser-Beobachtungsrohr anstatt in dem Wellenleiterrohr eingesetzt zu werden.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben; in dieser zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung des Prinzips der Kompensation einer Ultraschallgeschwindigkeit unter Verwendung eines reflektierenden Gegenstandes oder Stabes bei einem herkömmlichen Hydrometer;

Fig. 2 ein Blockdiagramm, welches die fundamentale Konfiguration einer erfindungsgemäßen Wasserpegel-Meßvorrichtung veranschaulicht;

Fig. 3 ein Zeitdiagramm, welches das Arbeitsprinzip der erfindungsgemäßen Wasserpegel-Meßvorrichtung veranschaulicht;

Fig. 4A, 4B jeweils eine Darstellung, welche eine Verzögerungszeit-Verteilung veranschaulicht, die in jedem der herkömmlichen Hydrometer und bei der erfindungsgemäßen Wasserpegel-Meßvorrichtung in Erscheinung tritt;

Fig. 5 eine Darstellung eines Verfahrens zur Messung des Wasserpegels im Grundwasser, bei welcher eine erfindungsgemäße Wasserpegel-Meßvorrichtung verwendet wird;

Fig. 6 eine Darstellung, welche eine Konfiguration veranschaulicht, bei welcher die erfindungsgemäße Wasserpegel-Meßvorrichtung auf einer geneigten Oberfläche angeordnet ist;

Fig. 7 eine graphische Darstellung, welche die Veränderung des Wasserpegels in einem Speicher darstellt, und

Fig. 8 eine Darstellung, welche ein weiteres Verfahren zur Messung des Wasserpegels in einem Speicher unter Verwendung der erfindungsgemäßen Wasserpegel-Meßvorrichtung veranschaulicht.

Gemäß Fig. 2 ist eine erfindungsgemäße Wasserpegel-Meßvorrichtung vertikal angeordnet und in Form eines Blockdiagramms dargestellt. Zunächst ist ein Rohr oder ein Wellenleiterrohr 2 mit seinem unteren Abschnitt an dem untersten Ort angeordnet, der gemessen werden soll. Die gesamte Länge des Rohres ist derart bemessen, daß sie größer ist als der gesamte Bereich, in welchem sich der Wasserpegel verändern kann.

Ein Ultraschallgenerator 1 ist am oberen Abschnitt des Wellenleiterrohrs 2 angeordnet. Ein Mikrofon oder ein Ultraschallempfänger 5₁ ist an einer Stelle angeordnet, die um einen vorgegebenen Abstand von dem Ultraschallgenerator 1 auf derjenigen Seite des Wellenleiterrohrs 2 liegt, die als Schalldruckfühler bezeichnet wird.

Weitere Ultraschallempfänger 5₂, 5₃, ..., 5_{n+1} sind ihrerseits auf einem Abstand 1 von dem ersten Empfänger 5₁ angeordnet. Somit wird während des Betriebes der Ultraschall-Wasserpegel-Meßvorrichtung ein Oszillator 6 derart betrieben, daß er Impulse an den Ultraschallgenerator 1 liefert, wie es in der Fig. 3 (I) dargestellt ist.

Zu dieser Zeit können Sinuswellen-Signale, die eine Periode oder zwei Perioden aufweisen, anstatt von Impulsen dem Ultraschallgenerator 1 zugeführt werden.

Dann erzeugt der Ultraschallgenerator 1 Ultraschallimpulse, wie es in der Fig. 3 (II) dargestellt ist, die sich entlang dem Wellenleiterrohr 2 ausbreiten. Ultraschallimpulse werden direkt oder indirekt von allen Ultraschallempfängern aufgenommen. Eine Schaltung 4 zum Umschalten ist mit den Ausgängen des zweiten, dritten ... (n+1)ten Empfängers 5₂, 5₃, ..., 5_{n+1} und mit dem Eingang eines Verstärkers 7 verbunden, und der Empfänger 5₁ ist immer mit dem Eingang des Empfängers 7 verbunden.

Deshalb empfängt der Empfänger 5₁ zuerst denjenigen Impuls, der vom Ultraschallgenerator 1 kommt, und die weiteren Empfänger 5₂, 5₃ ... empfangen Impulse, die jeweils mit der Zeitdifferenz I/C ankommen, wie es in der Fig. 3 (III) dargestellt ist. Es werden auch die Ultraschallimpulse, die an der Wasseroberfläche reflektiert werden, in umgekehrter Reihenfolge von den Empfängern 5_n ..., 5₂, 5₁ empfangen. Diese Empfänger 5₁, 5₂ ... liefern die empfangenen Signale an den Verstärker 7, damit sie verstärkt werden.

Der Verstärker 7 erhöht seinen eigenen Verstärkungspegel, und zwar in Abhängigkeit von der Zeit, die vergangen ist, nachdem die erste vorgegebene Zeitperiode verstrichen ist, wenn eine Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 ein Ultraschallgeneratorsignal an den Oszillator 6 liefert, um den Ultraschallgenerator 1 in die Lage zu versetzen, Ultraschallimpulse zu erzeugen. Wenn der Empfänger 7 das Impulssignal vom vierten Empfänger bekommt, kehrt sein Verstärkungsgrad zu dem Ursprungspiegel zurück, und die Amplitude der Impulssignale wird wieder in den ursprünglichen Zustand versetzt. Somit erscheinen die Amplituden der Ausgangssignale konstant, und zwar auch dann, wenn sie von einem beliebigen Empfänger kommen, der an der vorgegebenen Stelle angeordnet ist. Die reflektierten Ultraschallimpulse sind auch in ihrer Amplitude konstant, wie es in der Fig. 3 (IV) dargestellt ist.

Die Ausgangssignale vom Verstärker 7 werden einem Detektor 8 zugeführt, um einen Nulldurchgangspunkt 0 bei der halben Periode der maximalen Amplitude von jedem der empfangenen Signale zu ermitteln, wodurch eine Halbperiode der empfangenen Signale in der Fig. 3 (IV) dargestellt wird, und es werden auch Impulse erzeugt, die in der Fig. 3 (V) veranschaulicht sind.

Diese Impulse können direkt verwendet werden oder einer Wellenformerschaltung 9 zugeführt werden, um Impulse zu erzeugen, wie sie in der Fig. 3 (VI) dargestellt sind. Die Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 empfängt Impulse von der Wellenformerschaltung 9, um die Impulsemfangszeit zu messen und die Frequenz der wiederholten Messung zu berechnen und es wird dann der Durchschnittswert ermittelt, um den Wasserpegel festzustellen. Eine digitale Anzeigeeinrichtung 11 veranschaulicht den Betriebszustand eines Systems, und zwar auf der Grundlage der Eingangsdaten der Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10. Ein Analog-Digital-Umsetzer 12 setzt analoge Signale von der Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 in digitale Signale um, und es können die Ausgangssignale der Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 einer automatischen Wasserpegel-Aufzeichneleinrichtung zugeführt oder an eine Telemetrie anlage übertragen werden. Es wird in der vorliegenden Beschreibung keine Erläuterung dieser Einrichtungen geben, da sie an sich bekannt sind.

Andererseits ist zu bemerken, daß die Position des Ultraschallempfängers 5₁ als Bezugspunkt zur Festlegung eines Nullpunktes dient.

Während vier wellenförmige Impulse der Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 zugeführt werden, werden die Zeitintervalle t_1 und t_2 gemäß Fig. 3 (VI) gemessen und es wird der Näherungswert L' des Wasserpegels L folgendermaßen berechnet:

5

$$L' = \frac{t_1}{t_2} \cdot l \quad (6)$$

10 Da die Ultraschallgeschwindigkeit C_2 im Abschnitt I nicht gleich der Ultraschallgeschwindigkeit C_2 im Abschnitt L ist, wird der Wasserpegel durch die Formel (6) nicht exakt berechnet. Somit wird zunächst der Näherungswert L' des Wasserpegels berechnet, und es wird dann der Empfänger 5_n , der am nächsten an der Wasseroberfläche angeordnet ist, berechnet/ausgewählt, und zwar folgendermaßen:

15

$$\frac{L'}{l} + 1 = n + a \quad (7)$$

20 Wenn $n+a$ gleich $n+1$ ist, wird der nte Empfänger 5_n als ausgewählt betrachtet. Wenn $n+a$ dem Wert n entspricht, dann gilt der $n-1$ te Empfänger 5_{n-1} als ausgewählt. Mit anderen Worten, die Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 bestimmt denjenigen Empfänger, der ausgewählt wird, und sie betätigt dann die Umschalteinrichtung gemäß Schaltung 4 in der Weise, daß die ausgewählten Empfänger 5_n mit dem Verstärker 7 verbunden werden.

25 Nachdem die Umschalteinrichtung gemäß Schaltung 4 betätigt wurde, wird das Ultraschall-Abgangssignal von der Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 dem Oszillator 6 zugeführt, so daß der Ultraschall-Vibrator 6 in der Weise betrieben wird, daß die Ultraschall-Impulse erzeugt werden. Zu dieser Zeit sind diejenigen Signale, die von den Ultraschallempfängern 5_1 und 5_n empfangen werden, dieselben Signale, die in der Fig. 3 (VII) dargestellt sind.

30 Nachdem diese Signale umgeformt wurden, werden die umgeformten Impulse dieselbe Form haben, wie die Impulse in der Fig. 3 (VIII).

35 Die Mikroprozessor-Steuereinrichtung 10 mißt die Zeitintervalle t_2 und t_1 und berechnet den exakten Wasserpegel L folgendermaßen:

35

$$L' = \frac{t_1}{2t_2} \cdot (n-1)l \quad (8)$$

40 In dieser Gleichung bedeuten n die Anzahl der Empfänger, die zu betreiben sind, und l ein Intervall zwischen den Empfängern.

45 Andererseits ist die Länge L_o hinauf bis zum Empfänger 5_n bereits bekannt, und es wird anstatt mit der Formel (8) der Wasserpegel L folgendermaßen berechnet:

45

$$L' = \frac{t_1}{2t_2} \cdot L_o \quad (9)$$

50 Es kann jedoch die Ultraschallgeschwindigkeit C_2 in dem Abschnitt des Abstandes L_o nicht mit der Ultraschallgeschwindigkeit C_1 in dem Abschnitt des Abstandes L in Beziehung gesetzt werden. Der Wasserpegel L' wird gemäß der Formel (9) folgendermaßen berechnet:

55

$$L' = \frac{2LC_2}{2C_1 \cdot L_o} \cdot L_o = L \cdot \frac{C_2}{C_1} \quad (10)$$

Daher beträgt der relative Fehler der Wasserpegelmessung folgenden Wert:

60

$$\delta_L = \frac{C_2}{C_1} - 1$$

65 Unter der Annahme, daß die Temperaturdifferenzen, die am "O"-Punkt und am "L"-Punkt miteinander verglichen werden, in einer linearen Form verteilt sind, wie es bei der an sich bekannten Fehleranalyse der Fall ist, ergibt sich der relative Fehler der Wasserpegelmessung folgendermaßen:

$$\delta_L = \frac{0.5\alpha(T_o - T_L)}{C_o + 0.5\alpha(T_o + T_L)} \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (11)$$

In dieser Gleichung ΔL einen Intervallabstand von dem ausgewählten Empfänger S_n zur Wasseroberfläche. Somit ist der größte Fehler der zu erwarten ist, etwa l .

$$\delta_{L_{\max}} = \frac{0.5\alpha(T_o - T_L)}{C_o + 0.5\alpha(T_o + T_L)} \cdot \frac{l}{L} \quad (12)$$

Es ist zu bemerken, daß dann, wenn der Meßbereich größer wird, der relative Fehler kleiner wird, und zwar im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren (es wird auf die Gleichung 5 hingewiesen), und der absolute Fehler bleibt unverändert, er ist vom Meßbereich unabhängig. Der absolute Fehler (der Ultraschallkompensationsfehler) ergibt sich folgendermaßen:

$$\Delta L = 0 \sim \frac{0.5\alpha(T_o - T_L)}{C_o + 0.5\alpha(T_o + T_L)} \cdot l \quad (13)$$

Wenn der zulässige Wert des absoluten Fehlers, die maximale Temperaturdifferenz $T_o - T_L$ und die Temperatursumme bekannt sind, wird das Intervall l zwischen den Ultraschallempfängern folgendermaßen berechnet:

$$l = \Delta L \cdot \frac{331.6 + 0.3 \cdot (T_o + T_L)}{0.3(T_o - T_L)} \quad (14)$$

Beispielsweise wird im Hinblick auf die Hydrologie-Betrachtung der zulässige Fehler der Wasserpegel-Messung durch plus oder minus 1 cm über den gesamten Meßbereich begrenzt.

Unter der Annahme, daß im Sommer T_o einen Wert von 40°C und T_L einen Wert von 25°C hat und im Winter T_o bei 0°C liegt und T_L bei 15°C , ergeben sich die Intervalle l folgendermaßen:

$$\text{Im Sommer: } l = 0.01 \cdot \frac{331.6 + 0.3 \cdot (40 + 25)}{0.3(40 - 25)} = 0.78m$$

$$\text{Im Winter: } l = 0.01 \cdot \frac{331.6 + 0.3 \cdot 15}{0.3 \cdot 15} = 0.74m$$

Jedoch wird die innere Temperaturverteilung des Wellenleiterrohres in situ nicht in einer linearen Form verändert, sondern in einer leicht geneigten oder leicht durchhängenden Form. Dies bedeutet, daß die Auswahl von $l = 1 \text{ m}$ für den Sommer oder den Winter geeignet ist.

Wenn beispielsweise die Länge des Wellenleiterrohres, welches der Luft ausgesetzt ist, 82 m in dem Speicher beträgt, unter der Annahme, daß l ein Wert von 2 m hat, übersteigt der maximale absolute Fehler den Wert von plus oder minus 1 cm nicht und der durchschnittliche absolute Fehler beträgt plus oder minus 4 mm, und zwar unter der Bedingung, daß die Umgebungstemperatur sich zwischen 0°C und 42°C sowie die Temperatur der Wasseroberfläche zwischen 15°C und 24°C ändert.

Zusätzlich zu den oben angegebenen Verfahren zur Messung der Wasserpegel kann zur Verminderung des Fehlers die Messung dadurch unterstützt werden, daß die Ausbreitungszeit der Ultraschallimpulse zwischen den zwei Empfängern berechnet wird, die am nächsten an der Wasseroberfläche angeordnet sind, experimentelle Ergebnisse haben jedoch gezeigt, daß der Fehler größer wurde. Beispielsweise wird gemäß der Erfindung der absolute Fehler durch Einsetzen in die Formel (13) gleich 4 mm, während der Fehler, der mit einer herkömmlichen Methode in Kauf genommen werden muß, 168 mm beträgt.

Andererseits wird bei der Ausführungsform die Frequenz f des Ultraschallimpulses in Abhängigkeit von dem inneren Durchmesser D des Wellenleiterrohres folgendermaßen gewählt:

$$f \leq \frac{C}{2D}$$

(15)

5 Die Ultraschallimpulse breiten sich in einer ebenen Wellenform in dem Wellenleiterrohr aus. Um den Meßbereich von 100 m sicherzustellen, ist ein innerer Durchmesser D von 0,1 m geeignet. Dazu ist die Frequenz des Ultraschallimpulses 1750 Hz und zwar unter der Bedingung, daß die Schallgeschwindigkeit etwa 350 m/sec. beträgt. Dabei ist zu bemerken, daß der Ultraschallimpuls über 20 kHz nicht verwendet wird. Somit hat die
 10 Einrichtung gemäß der Erfindung einen geringeren Dämpfungsfaktor, einen größeren Meßbereich und einen kleineren Meßfehler.

Die Erfindung ist auch dadurch gekennzeichnet, daß ein Übertrager einen Ultraschallgenerator und Ultraschallempfänger aufweist, die voneinander getrennt sind.

Somit ist es nicht notwendig, eine Verzögerungszeit einer elektronischen Schaltung zu kompensieren, und es ist auch keine Kompensation für Übertrager, Kabel usw. bei der Messung der Ultraschall-Ausbreitungszeit erforderlich. Beispielsweise tritt die Verzögerungszeit während der Messung der Ultraschall-Ausbreitungszeit bei einer Einrichtung nach dem Stand der Technik folgendermaßen auf:
 Wenn nur ein Ultraschallübertrager verwendet wird, wird damit begonnen, die Ultraschall-Ausbreitungszeit zu messen, sobald das abgehende Ultraschallsignal dem Übertrager zugeführt wird. Zu dieser Zeit hat der Übertrager eine Verzögerungszeit, bis der Ultraschallimpuls erzeugt wird, was jedoch vernachlässigt wird.

Dann werden die Ultraschall-Signale, die an der Wasseroberfläche oder einem reflektierenden Stab reflektiert werden, gemäß der Darstellung in der Fig. 4A an dem Empfänger empfangen.

Wenn die reflektierten Signale zu der Zeit, zu der sie den Empfänger erreichen, einen 0-Durchgang aufweisen, werden die Abschnitte, welche der 1,5 bis 2ten Periode der Ultraschall-Impulssignale entsprechen, ermittelt.

25 Wenn die Frequenz des Ultraschallimpuls-Signals 20 kHz, ist die 1,5 bis 2te Periode 0,75 bis 1,0 mal 10^{-4} Sekunden.

Wenn die Verzögerungszeit τ ignoriert wird, beträgt der absolute Fehler des Wasserpegels L folgenden Wert:

$$30 \Delta_L \approx -\frac{\tau C}{2} \left(\frac{L}{l} - 1 \right) \quad (\text{a})$$

In dieser Beziehung bedeuten C eine Ultraschallgeschwindigkeit, l ein Intervall zwischen einem Ultraschallübertrager und einem reflektierenden Stab. Unter der Annahme, daß τ gleich 10^{-4} ist, C 350 m/sec beträgt und L/l einen Wert von 10 hat, beträgt der absolute Fehler 11 cm. Je stärker der Meßbereich ausgeweitet wird, umso stärker steigt der Wasserpegel-Meßfehler an. Daher muß die Verzögerungszeit kompensiert werden. Insbesondere sollte bei einem Hydrometer mit größerem Bereich eine geringere Frequenz verwendet werden. Wenn die Frequenz 2 kHz beträgt, ist die Verzögerungszeit τ gleich 10^{-3} sec. Somit beträgt sogar dann, wenn der Kompensationsfehler der Verzögerungszeit 1% ist, der absolute Fehler 1 cm.

Gemäß der Erfindung wird der Ultraschallübertrager bei einem Generator und einem Empfänger verwendet, die voneinander getrennt sind. Deshalb tritt selbst dann, wenn die Frequenz relativ geringer ist, die Verzögerungszeit nicht auf, wie es in der Fig. 4B veranschaulicht ist. Es ist hier zu bemerken, daß diese Ausführungsform die Kompensation der Ultraschallgeschwindigkeit sorgfältig berücksichtigt, und es wird die Verzögerungszeit aus der Messung der Ausbreitungszeit eliminiert.

Somit ist es möglich, den Wasserpegel in einem größeren Meßbereich zu erfassen, wenn eine Ultraschallwelle mit geringerer Frequenz verwendet wird. Außerdem kann die Fehlerkorrektur unabhängig vom Meßbereich durchgeführt werden.

Fig. 5 ist eine Darstellung, welche ein Ausführungsbeispiel dafür veranschaulicht, eine Ultraschall-Wasserpegel-Meßvorrichtung zur Messung des Wasserpegels von Grundwasser gemäß der Erfindung zu realisieren.

Hier ist ein Wasserpegel-Beobachtungsrohr 14 an die Stelle des Wellenleiterrohres getreten, um derart zu arbeiten, daß die Ultraschallimpulse sich im Grundwasser ausbreiten. Das Wasserpegel-Beobachtungsrohr 14 hat einen Ultraschall-Impuls-Generator 1, der in seinem oberen Bereich angebracht ist, sowie Ultraschallempfänger 5₁, 5₂, ..., 5_n, die auf einem Intervall-Abstand auf einem Haltestab angebracht sind, welcher in das Wasserpegel-Beobachtungsrohr 14 eingesetzt ist. Natürlich dient der Einsatz der Ultraschall-Wasserpegel-Meßvorrichtung nicht dazu, daß der Beobachter den Wasserpegel während seiner Tour beobachten soll. Die Ultraschall-Wasserpegel-Meßvorrichtung wird dazu verwendet, gemeinsam mit einem automatischen Aufzeichnungsgerät für den Wasserpegel zu arbeiten, wenn der Wasserpegel des Beobachtungsrohres 14 gemessen wird, wobei eine Telemetrie-Anlage in einem Zeitintervall im Grundwasser verwendet wird.

60 In der Fig. 5 veranschaulicht ein Block 15 eine Wasserpegel-Meßschaltung, die alle Komponenten gemäß der Fig. 2 aufweist.

Ein drahtloser Sender 16 ist mit dem Block 15 verbunden, um die Wasserpegel-Daten, die gemessen wurden, an eine entfernte Zentralstation zu übertragen, die einen Hauptcomputer oder Zentralrechner hat. Eine Zeitsteuerung und eine Energiequelle 17 versorgen den Block 15 und der drahtlose Sender 16 betreibt sie in einem vorgegebenen Zeitintervall.

Das normale Beobachtungsrohr 14 hat im allgemeinen einen inneren Durchmesser von 10 bis 20 cm. Wenn die Frequenz des Ultraschallimpulses im Bereich von 1 bis 1,5 kHz liegt, somit dem Rohr angepaßt ist, wird garantiert, daß der maximale Meßbereich bis zu etwa 200 m reicht. Die Kurve, die in der Fig. 5 durch eine

unterbrochene Linie dargestellt ist, ist eine Depressionskurve des Grundwassers. Die Temperaturverteilung in dem Beobachtungsrohr 14 des Grundwassers wird bis zu einer Tiefe von 5 m von der Grundfläche stark verändert, wenn die Tiefe jedoch viel größer wird, wird die Temperaturveränderung wesentlich geringer. Somit ist es selbst dann, wenn der Meßbereich des Wasserpegels größer wird, nicht notwendig, eine Menge von entsprechenden Empfängern in dem Beobachtungsrohr 14 unterzubringen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Wellenleiterrohr für ein Ultraschall-Hydrometer an dem Ufer eines Flusses oder eines Speichers angebracht, ohne den vertikalen Turm vorzusehen, um ein Hydrometer zu installieren. Dadurch werden die Kosten für die Installation des Hydrometers beträchtlich gesenkt.

Die Fig. 6 stellt eine Veranschaulichung der Installation einer erfindungsgemäßen Ultraschall-Wasserpegel-Meßvorrichtung dar.

Ein Träger 18 in der Form eines U-förmigen Stützkanals ist am Ufer eines Flusses angeordnet.

Ein Wellenleiterrohr 2 ist auf dem Träger 18 angebracht, und es ist der Träger 18 des U-förmigen Stützkanals mit Rollen 20 ausgestattet, um das Wellenleiterrohr 14 in den Stütz-Kanal einzusetzen oder auf den Stütz-Kanal zu heben. Wenn das Wellenleiterrohr 14 unter einem Neigungswinkel β auf dem Träger 18 angebracht wird, bildet die Wasseroberfläche, von der Ultraschallimpulse reflektiert werden, eine Neigungsfläche unter einem Winkel 90 Grad minus β . In Abhängigkeit vom Versuch sind die ausgesandten Wellen und die reflektierten Wellen der Ultraschallimpulse voneinander verschieden, und zwar in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel der reflektierenden Oberfläche. Deshalb muß der Wasserpegel-Meßwert durch das Korrekturverfahren des Hydrometers dadurch korrigiert werden, daß die Entfernungunterschiede von einem Ultraschallvibrator zu der Wasseroberfläche entlang der Wasseroberfläche entlang der Mittellinie des Wellenleiterrohres gemäß dem Neigungswinkel der Wasseroberfläche ermittelt werden.

Anstatt die Berechnung der Korrekturkoeffizienten in bezug auf eine Vielzahl von Neigungswinkeln durchzuführen, ist es vorteilhaft, einen kugelförmigen Schwebekörper 19 in das Wellenleiterrohr 14 einzusetzen, so daß der Korrekturwert unabhängig von dem Neigungswinkel konstant ist. Der Schwebekörper 19 wird derart gewählt, daß er einen Innendurchmesser aufweist, der um etwa 5% bis 10% kleiner ist als der Innendurchmesser des Wellenleiterrohres 14, und sein Gewicht wird derart gewählt, daß er um die Hälfte seiner Länge in Wasser eintaucht. Der Schwebekörper 19 ist auch aus festen Materialien hergestellt, so daß er keine Ultraschallimpulse absorbiert. Wenn gemäß dem Versuch des Ultraschallimpuls auf der halbkugeligen Oberfläche reflektiert wird, wird sein reflektierendes Signal in der Intensität um etwa 2% im Verhältnis zu dem Signal geschwächt, welches auf der ebenen Oberfläche reflektiert wird. Zu dieser Zeit beträgt die Frequenz des Ultraschallimpulses 1 bis 2 kHz, und der gemessene Abstand wird um drei Fünftel des Halb-Durchmesser des kugelförmigen Schwebekörpers 19 über die tatsächliche Entfernung von dem Ultraschallvibrator zu der Wasseroberfläche verkürzt.

Diese Differenz Δ wird während des Korrekturversuchs exakt gemessen, und es wird dann, wenn die Wasserpegel-Meßvorrichtung montiert werden soll, die Position des Ultraschallempfängers 5₁ aufwärts festgelegt, und zwar von der Differenz von dem Bezugspunkt "O" in dem Wellenleiterrohr. Deshalb führt die Verwendung des kugelförmigen Schwebekörpers dazu, daß der Korrekturwert konstant bleibt, unabhängig von dem Neigungswinkel des Wellenleiterrohres. Der wesentlichsste Aspekt besteht darin, daß der Schwebekörper die Berührungsreibung mit der Wand des Wellenleiterrohres aufweist, jedoch in Drehung versetzt wird, wenn er gemäß der Veränderung des Wasserpegels bewegt wird, was sehr zuverlässig ist. Der Wasserpegel H wird folgendermaßen gemessen:

$$H = \frac{L}{\sin \beta} + \Delta \quad (16)$$

Wenn das Wellenleiterrohr in einer geneigten Konfiguration installiert wird, hat die Wasserpegel-Meßvorrichtung eine relative hohe Empfindlichkeit. Weiterhin hat gemäß Fig. 6 das Wellenleiterrohr einen Endabschnitt 26, der eine kleinere Fläche aufweist, um die Vibration des Wasserpegels zu vermeiden. Während des Ansteigens und des Abfallens des Wasserpegels werden Drift-Erscheinungen oder Ablagerungen um den Endabschnitt des Wellenleiterrohres gebildet. Um das Auftreten von Drift-Erscheinungen oder Ablagerungen von kleinen Partikeln zu verhindern, ist der Endabschnitt an einer Seitenfläche geneigt, um die Fläche zu verengen, wie es in der Fig. 6 veranschaulicht ist. Außerdem ist der Endabschnitt in einer Zusammenbau-Konfiguration ausgebildet, um seinen Austausch zu erleichtern. Somit kann das Wellenleiterrohr, welches einen Teil der Wasserpegel-Meßvorrichtung darstellt, an einem geneigten Ufer eines Flusses oder eines Speichers eingebaut werden. Es ist nicht erforderlich, einen vertikalen Turm zu bauen, um ein Schwebekörper-Hydrometer einzusetzen.

Andererseits kann ein Nachteil dann auftreten, wenn der Neigungswinkel β klein ist, weil dann die Länge des Wellenleiterrohres bis zu größeren Abmessungen zunehmen muß. Wenn beispielsweise die Veränderung des Wasserpegels während einer Periode von einem Jahr im Bereich von 50 bis 80 m liegt, wie es bei einem künstlichen Speicher der Fall sein kann, um die Wassermenge in verschiedenen Jahreszeiten zu steuern, sollte das Wellenleiterrohr, welches unter einem Neigungswinkel β von 45 Grad angeordnet ist, die Länge von 72 bis 115 m aufweisen. Es ist jedoch schwierig, ein längeres Wellenleiterrohr auf der geneigten Oberfläche eines Speicher unterzubringen.

Gemäß der Erfindung kann jedoch ein kürzeres Wellenleiterrohr verwendet werden, welches beispielsweise eine Länge von 30 m aufweist. In der Fig. 7 wird die Veränderung des Wasserpegels L veranschaulicht. Der Wasserpegel L wird während der Jahreszeiten um 20 m verändert. Somit kann das Wellenleiterrohr entlang dem U-förmig gestalteten Kanal-Träger 18 in Abständen von wenigen Monaten bewegt werden. Wie in der Fig. 8

dargestellt ist, kann das kürzere Wellenleiterrohr 2 verwendet werden. Eine Hubeinrichtung 22 ist mit Hilfe eines Seiles 23 mit dem Wellenleiterrohr 2 verbunden. Somit wird die Hubeinrichtung 22 in Abständen von wenigen Monaten betätigt, um die Position des Wellenleiterrohrs 2 zu verändern. Wenn beispielsweise die Wassermenge im Sommer ansteigt, wird das Wellenleiterrohr 2 aufwärts bewegt.

5 Andererseits ist es vorteilhaft, die Wasserpegel-Meßeinrichtung unter einem vertikalen Winkel in einem kleinen Fluß oder einem entsprechenden künstlichen Wasserweg anzubringen. Beispielsweise kann das Wellenleiterrohr, welches den Innendurchmesser 50 mm und die Länge von 5 m aufweist, leicht dadurch installiert werden, daß Seile dazu verwendet werden, es ohne größere Kosten zu sichern.

10 Patentansprüche

1. Wasserpegel-Meßvorrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wellenleiterrohr in Form einer Röhre zur Ausbreitung von Ultraschallimpulsen vorgesehen ist, daß ein Ultraschallvibrator auf dem oberen Abschnitt des Wellenleiterrohrs zur Erzeugung von Ultraschallimpulsen vorhanden ist,
- 15 daß eine Mehrzahl von Ultraschallempfängern (erster, zweiter, . . . n-ter), entlang dem Wellenleiterrohr auf Abstand voneinander angeordnet sind, um die ausgesandten und die reflektierten Signale der Ultraschallimpulse abwechselnd zu empfangen, daß weiterhin eine Schalteinrichtung vorgesehen ist, um den Ultraschallempfänger in Abhängigkeit vom Wasserpegel umzuschalten, daß weiterhin eine Mikroprozessor-Steuereinrichtung dazu dient, die verstärkten und hinsichtlich der Wellenform gestalteten Signale zu empfangen, einschließlich der ausgesandten und der reflektierten Signale, die von dem ersten Empfänger kommen, wobei das Zeitintervall zwischen den ausgesandten Signalen und den reflektierten Signalen sowie die Ausbreitungszeit der Ultraschall-Impuls-Signale von dem ersten Empfänger zu dem am nächsten an der Wasseroberfläche angeordneten Empfänger gemessen werden, um den Wasserpegel L zu berechnen und um die Schalteinrichtung und den Ultraschallimpulsgeber zu steuern,
- 20 daß weiterhin eine Anzeigeeinrichtung vorhanden ist, um die Daten von der Mikroprozessor-Steuereinrichtung darzustellen, daß weiterhin ein Digital-Analog-Umsetzer zur Umsetzung digitaler Daten in analoge Daten vorhanden ist und daß eine automatische Aufzeichnungseinrichtung vorgesehen ist, um die Ergebnis-Daten von der Mikroprozessor-Steuereinrichtung zu registrieren.
- 25 2. Wasserpegel-Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein kugelförmiger Schwerekörper einen inneren Durchmesser von 90 bis 95% über demjenigen des Wellenleiterrohrs aufweist, um in das Wellenleiterrohr eingesetzt zu werden, so daß der halbe Bereich des Körpers im Wasser eingetaucht ist, damit das Wellenleiterrohr an dem Ufer eines Flusses, mit einer Neigung angeordnet werden kann, um den höheren Wasserpegel zu messen.
- 30 3. Wasserpegel-Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wasserpegel-Beobachtungsrohr einen Trägerstab aufweist, um eine Mehrzahl vom Empfängern aufzunehmen, die darauf in Intervallen angebracht sind, und zwar durch Ersetzen des Wellenleiterrohrs, um den Wasserpegel des Grundwassers zu messen.
- 35 4. Wasserpegel-Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der untere Endabschnitt des Wellenleiterrohrs in Form eines Kegelstumpfes ausgebildet ist, um eine kleinere Fläche als der Körper zu haben, und daß eine Befestigungseinrichtung vorgesehen ist, welche dazu dient, den Endabschnitt gegen einen anderen Endabschnitt auszutauschen.
- 40 5. Verfahren zur Messung des Abstandes L von dem Nullpunkt zu der Wasseroberfläche und zur Berechnung des Wasserpegels, dadurch gekennzeichnet,
- 45 daß ein Ultraschallvibrator, der auf dem oberen Abschnitt eines Wellenleiterrohrs angebracht ist, dazu gebracht wird, Ultraschallimpulse zu erzeugen, die eine vorgegebene Frequenz haben, daß ausgesandte Wellenimpulse und reflektierte Wellenimpulse jeweils von dem Ultraschallvibrator empfangen werden, und zwar von jedem der ersten Ultraschallempfänger, die an einer Stelle angebracht sind, daß sie um ein vorgegebenes Vielfaches des Durchmessers des Wellenleiters von dem oberen Abschnitt des Wellenleiterrohrs entfernt sind, und daß eine Vielzahl von Empfängern (zweiter . . . n-ter) ihrerseits auf dem Wellenleiterrohr angebracht sind, und zwar auf Abstand abwärts auf einem Abstands-Intervall I von dem ersten Empfänger,
- 50 daß die empfangenen Signale verstärkt werden, daß der Nulldurchgangspunkt der maximalen Amplitude in einem Signal ermittelt wird und daß Impulse erzeugt werden, daß die Impulse in ihrer Wellenform gestaltet werden, welche Rechteckwellen mit einer vorgegebenen Breite darstellen,
- 55 daß festgestellt wird, ob die empfangenen Signale jeweils dem ersten Empfänger oder dem zweiten Empfänger entsprechen, in Abhängigkeit von den ansteigenden Flanken der in ihrer Wellenform gestalteten Signale, daß das Zeitintervall t₁ zwischen dem ausgesandten Wellenimpuls und dem reflektierten Wellenimpuls gemessen wird, die von dem ersten Empfänger aufgenommen werden, daß weiterhin das Zeitintervall t₂ zwischen dem ausgesandten Wellenimpuls und dem reflektierten Wellenimpuls gemessen wird, die von dem zweiten Empfänger aufgenommen werden, daß der angenäherte Wasserpegel L' berechnet wird,
- 60 daß ein n-ter Empfänger ausgewählt wird, welcher am nächsten an der Wasseroberfläche angeordnet ist, und zwar unter Verwendung des angenäherten Wasserpegels, der zu messen ist, daß eine Schalteinrichtung betätigt wird, welche dem n-ten Empfänger entspricht, so daß dadurch die Eingangssignale des n-ten Empfängers dem Verstärker zugeführt werden, daß weiterhin das Zeitintervall t₁ zwischen dem ausgesandten Wellenimpuls und dem reflektierten Wellenimpuls gemessen wird, welche von dem ersten Empfänger
- 65

aufgenommen werden, daß weiterhin das Zeitintervall t_n zwischen dem ausgesandten Wellenimpuls und dem reflektierten Wellenimpuls gemessen werden, welche von dem n-ten Empfänger aufgenommen werden,
daß dann der exakte Wasserpegel L berechnet wird, und daß der gemessene Wasserpegel von dem Nullpunkt der Wasserpegel-Meßvorrichtung subtrahiert wird, wenn der Wasserpegel L über der Meeres-
höhe gemessen wird.

6. Verfahren zur Messung des Abstandes L von dem Nullpunkt zu der Wasseroberfläche und zur Berech-
nung des Wasserpegels nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vibrationsfrequenz des Ultra-
schallimpulses F in Abhängigkeit von dem Durchmesser D des Wellenleiterrohres folgendermaßen berech-
net wird:

$$f \leq \frac{C}{2D}$$

wobei C eine mittlere Schallgeschwindigkeit der Luft im Wellenleiterrohr und D der Innendurchmesser des Wellenleiterrohres sind, der gemäß dem maximalen Meßbereich des Wasserpegels gewählt wird, daß dann, wenn L ungefähr gleich 100 in, $D \geq 100$ mm und $L \leq 20$ m ist, der Innendurchmesser D so gewählt wird, daß er größer ist als 50 mm, während der Intervall-Abstand 1 zwischen den Empfängern, die auf dem Wellenleiterrohr montiert sind, folgendermaßen gewählt wird:

$$l \leq \Delta_L \cdot \frac{C_0 + 0.5\alpha(T_o + T_L)_{max}}{0.5\alpha(T_o - T_L)_{max}}$$

wobei

Δ_L = ein zulässiger absoluter Fehler über alle Bereiche, die zu messen sind,

T_o = eine Temperatur der Luft oder anderer Gase an der Stelle des ersten Empfängers, der auf dem oberen Abschnitt des Wellenleiterrohres angebracht ist,

T_L = eine Temperatur der Luft oder anderer Gase an der Stelle des n-ten Empfängers, der auf dem unteren Abschnitt des Wellenleiterrohres angebracht ist,

C_0 = eine Ultraschallgeschwindigkeit, wenn die Temperatur der Luft oder anderer Gase gleich 0°C ist und α = ein Temperaturkoeffizient einer Ultraschallgeschwindigkeit der Luft oder anderer Gase.

7. Verfahren zur Messung des Abstandes L von dem Nullpunkt zu der Wasseroberfläche und Berechnung des Wasserpegels nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand L von dem Nullpunkt des ersten Empfängers zu der Wasseroberfläche näherungsweise folgendermaßen berechnet wird:

$$L' = \frac{t_1}{t_2} \cdot l$$

daß in Abhängigkeit von dem Ergebnis der n-te Empfänger am nächsten zu der Wasseroberfläche ausgewählt wird, daß das Ausbreitungszeitintervall t_n zwischen dem ausgesandten Wellenimpuls und dem reflektierten Wellenimpuls gemessen wird, welche von dem n-ten Empfänger aufgenommen werden, und daß der exakte Wasserpegel L unter Verwendung der Zeitintervalle t_1 und t_n folgendermaßen berechnet wird:

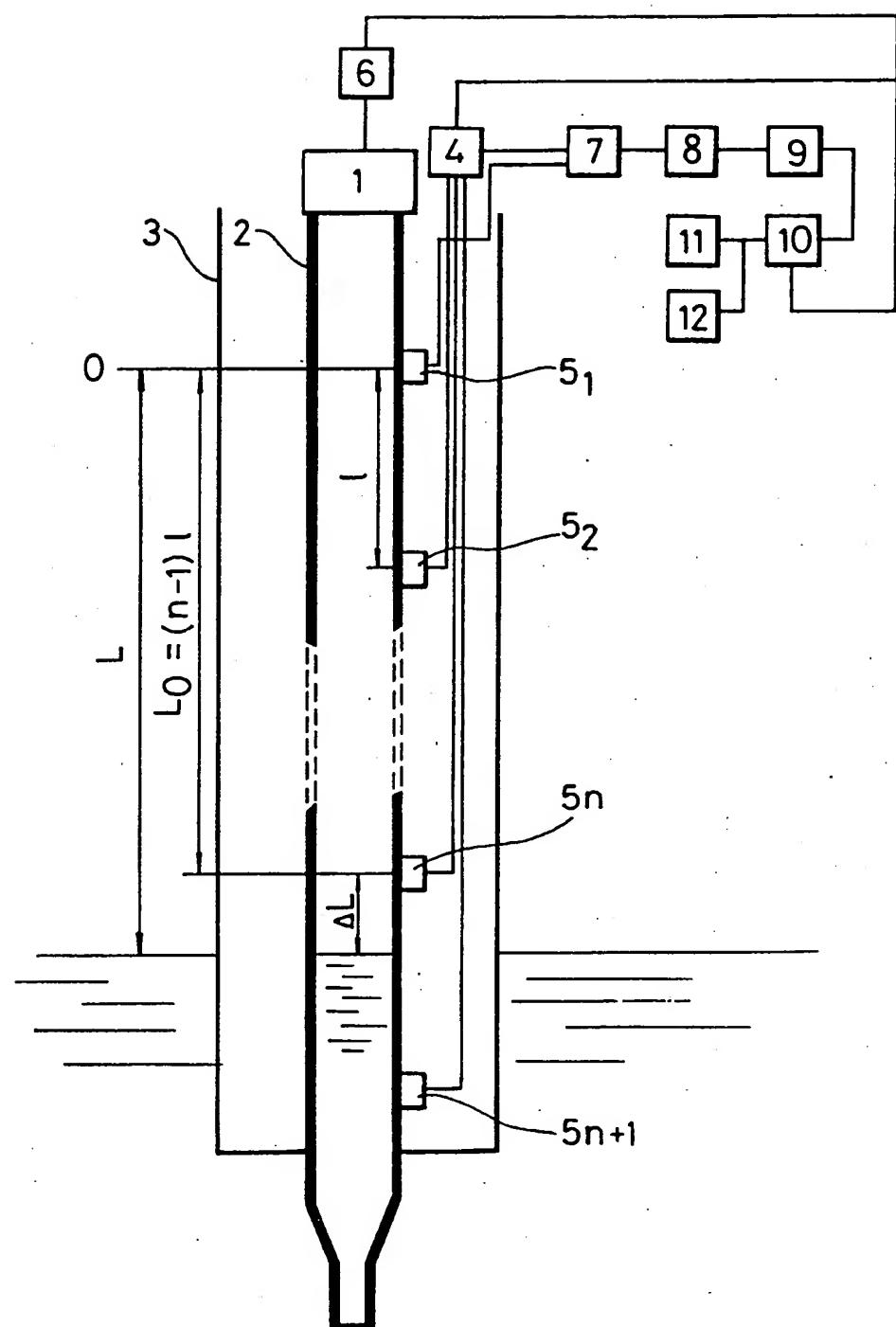
$$L = \frac{t_1}{2t_n} (n-1) l$$

wenn das Wellenleiterrohr auf der geneigten Oberfläche eines Flusses angebracht ist, wird der Wasserpegel L folgendermaßen berechnet:

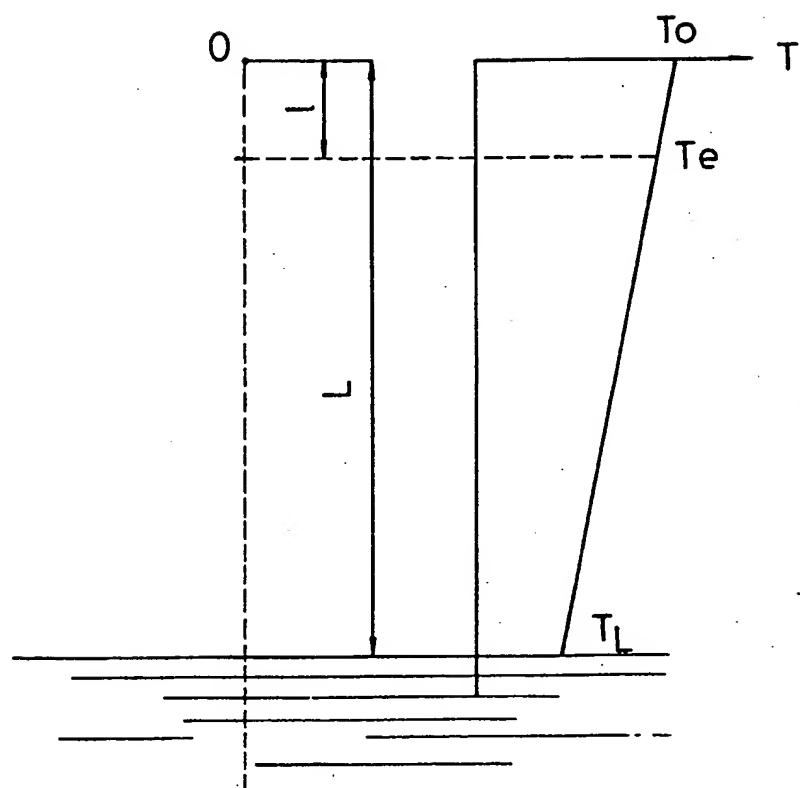
$$L = \frac{t_1}{2t_n \sin \beta} (n-1) l$$

wobei nur der Nullpunkt des ersten Empfängers bei einem vorgegebenen Intervall entlang der geneigten Linie weg vom Nullpunkt positioniert wird.

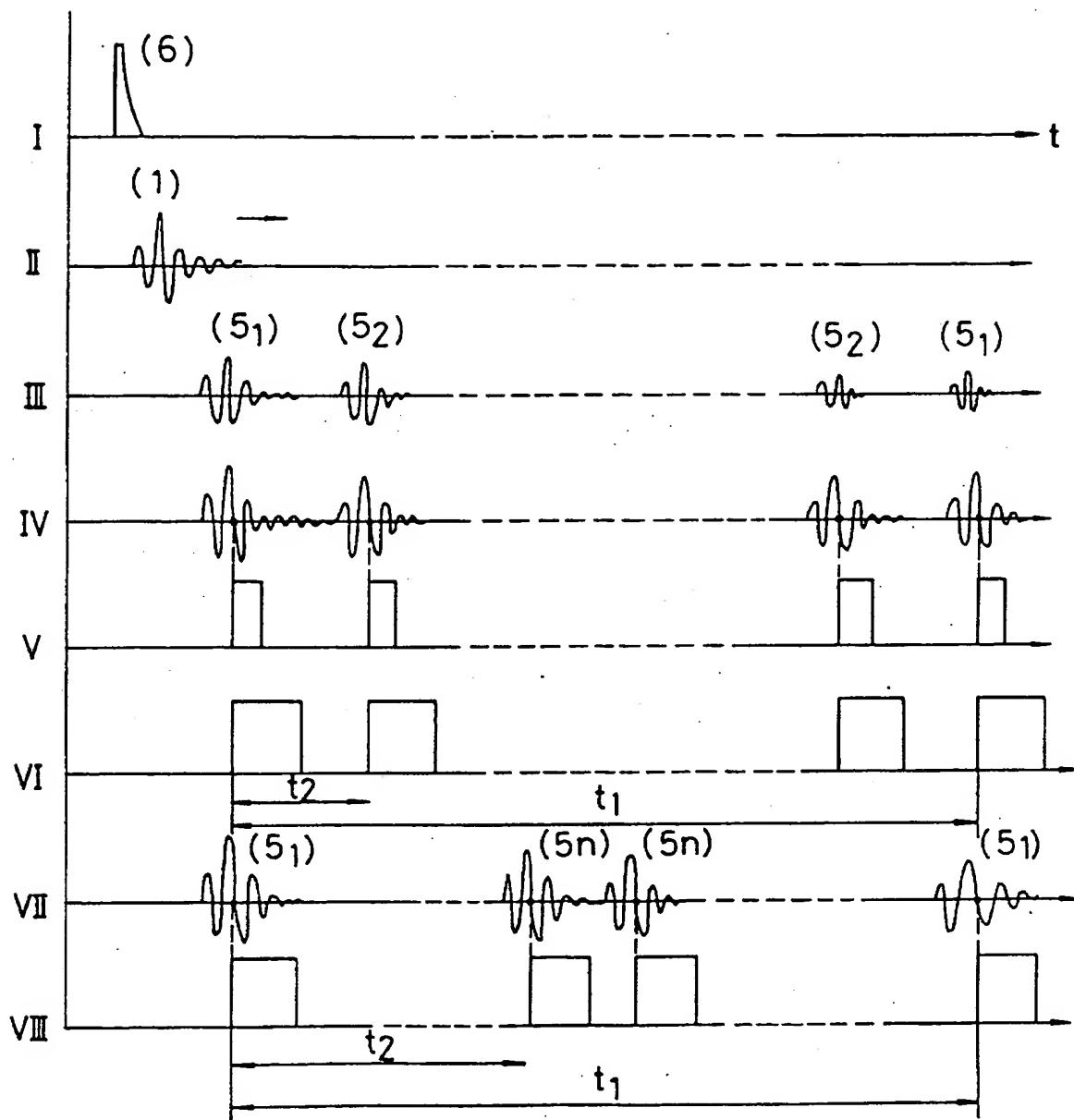
F I G. 2 *



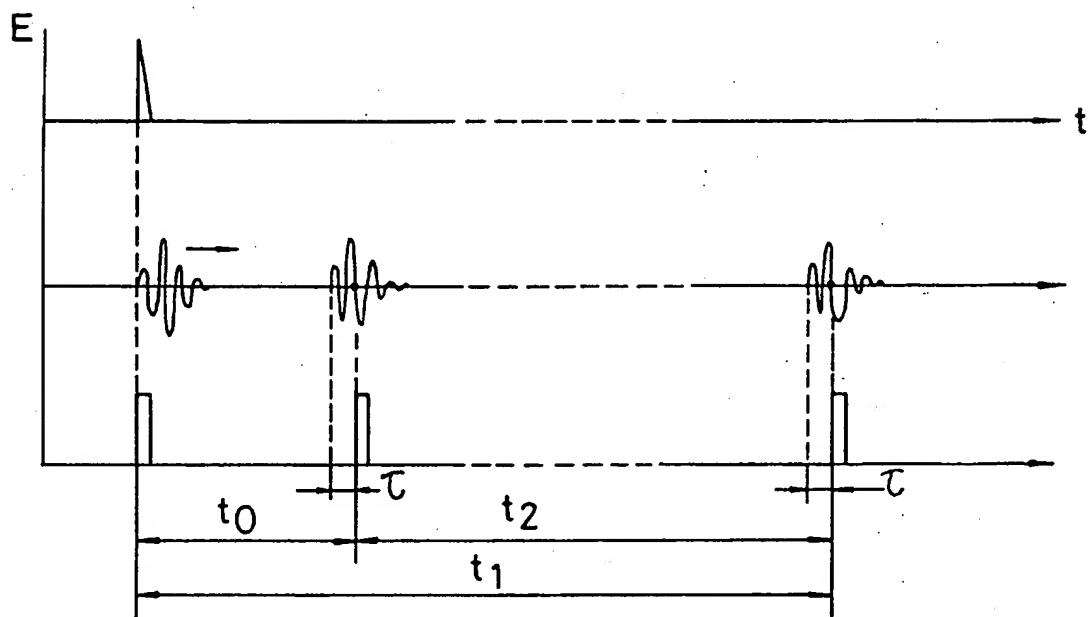
F I G. 1



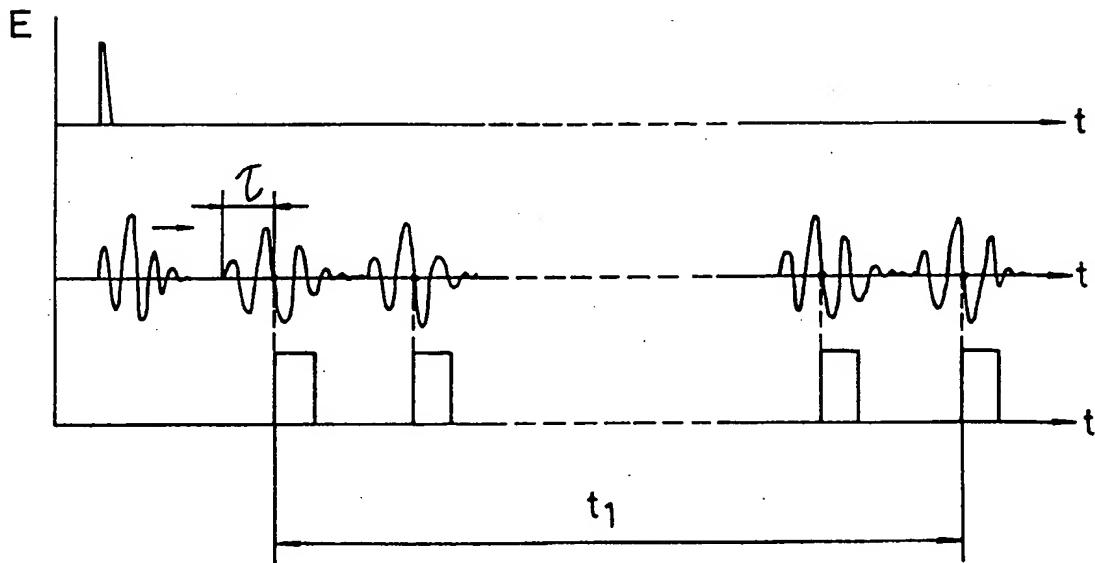
F I G. 3



F I G. 4(A)



F I G. 4(B)



F I G. 5

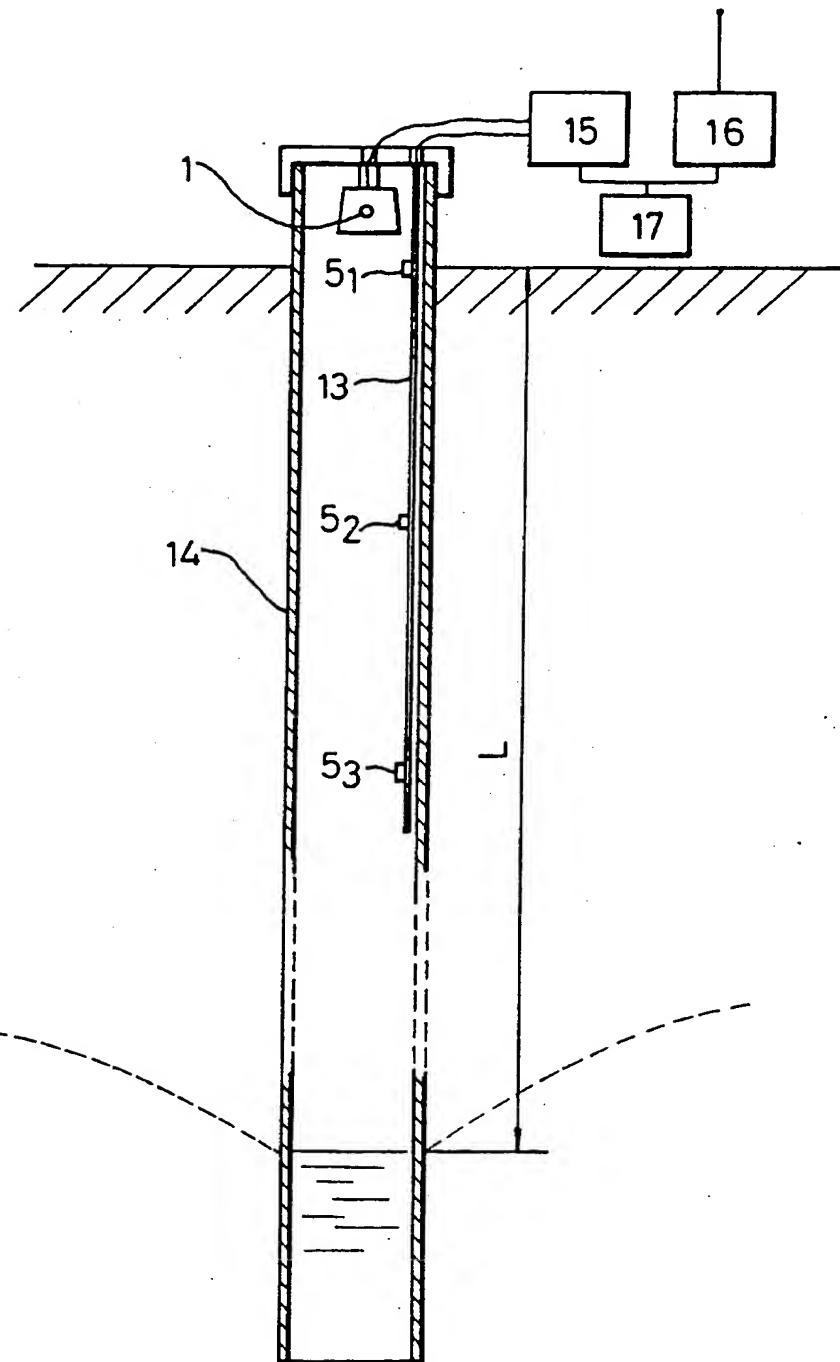
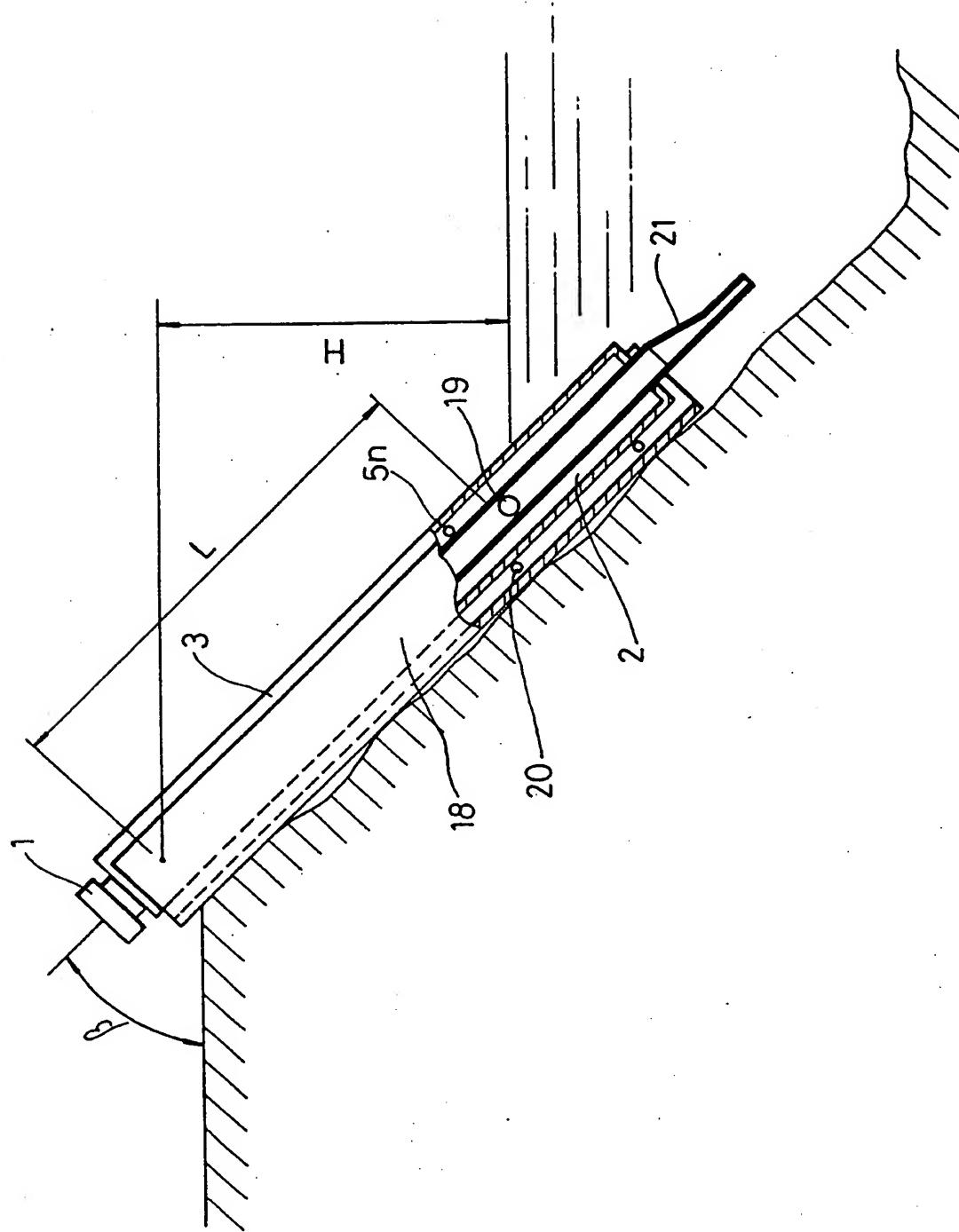
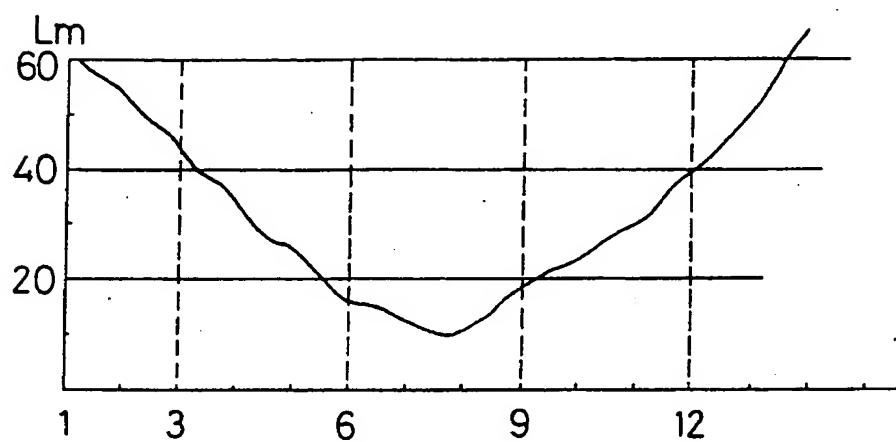


FIG. 6



F I G. 7



F I G. 8

